

 **Universidad Nacional de Ingeniería**

---

**Facultad de Petróleo**

**Posibilidades de Electrificación  
del Sector de Producción San Martín**

**Tesis para optar el Grado de  
INGENIERO DE PETROLEO**

**MARIO SHEPHERD PERA**

**LIMA - PERU**  

---

**1963**

# I N D I C E

- I Objeto
- II Abstracto
- III Exposición
  - a) Aspecto Técnico
  - b) Aspecto Económico
- Conclusiones y recomendaciones
- V Discusión
- VI Apéndice

BIBLIOGRAFIA

Página 3 - Fórmula de Langer y Lamberger:

"The Oil and Gas Journal"

Noviembre 21, 1960.- pág. 188.

Gráfico adj. pág. 33 - Consumo de gas combustible:

Practical Petroleum Engineer's Handbook-

por Joseph Zaba & W. T. Doherty,

Tercera Edición (1949), pág. 449.

)-()-()-()-()-()-()-()

DE ELECTRIFICACION DEL SECTOR DE PRODUCCION  
SAN MARTIN"

I O B J E T O

El propósito del presente estudio es determinar si resulta factible recuperar motores a gas, reducir costos anuales, disminuir pérdidas de producción por desperfectos de orden mecánico y mejorar las condiciones de operación, mediante la instalación de equipo eléctrico en las unidades de bombeo cuya operación se efectúa actualmente en el sector de producción San Martín.

II A B S T R A C T O

En el sector San Martín hay 13 pozos productores con unidades de bombeo y motores a gas: 7 en la Zona Norte y 6 en la Zona Sur (Ver Figs. 1 y 2).

La disponibilidad de energía, motores y controles de arranque eléctricos, así como también de aproximadamente el 58% de longitud de líneas necesarias (+ 5% por catenarias) hacen justificable la conversión a eléctricos de los equipos existentes mediante una inversión inicial de \$ 12325 para recuperar equipo a gas por \$ 31790 (el importe de los motores es \$ 28000) esto es, obteniéndose una ganancia inicial de \$ 19465.

vez efectuada la conversión en referencia se a una reducción anual de costos por un valor de 11230-7885 = \$ 3345, así como también una menor pérdida de producción anual equivalente a 617 - 117 = \$ 500

## I II E X P O S I C I O N

### a) ASPECTO TECNICO

#### 1) Cálculo de la capacidad de bombas

Para determinar el desplazamiento de bombas de subsuelo para pozos petrolíferos, se ha considerado conveniente usar en los cálculos correspondientes la fórmula de Langer y Lamberger por su mayor simplicidad que las desarrolladas por los señores Slonneger, Mills y Rieniets.

La expresión analítica de la fórmula en referencia es como sigue:

$$C_e = \frac{C_v}{\cos (0.0004 LN)^{\circ}} - \frac{PL(\sum F_{iv}/A_{iv} + \sum F_{iT}/A_{iT})}{2 (10)^6}$$

Donde:

$C_e$  : carrera efectiva de la bomba, pulgadas

$C_v$  : carrera del varillón pulido, pulgadas

$P$  : peso de la columna de fluido sobre el pistón de la bomba, libras

$L$  : profundidad de la bomba, pies

la sección transversal de las varillas de diámetro "i", pulgs. cuads.

$A_{iT}$  : área de la sección transversal de los tubos de diámetro "i", pulgs. cuads.

$F_{iv}$  : porcentaje de varillas de diámetro "i".

$F_{iT}$  : porcentaje de tubos de diámetro "i".

El primer término de la derecha, o sea  $\frac{C_v}{\cos(0.0004LN)}$

involucra la ganancia de carrera debida a la aceleración.

Dicho término puede expresarse de esta

manera:

$$C_v + C_v \left[ \frac{1}{\cos(0.0004LN)} - 1 \right]$$

en que el producto

$$\left[ \frac{1}{\cos(0.0004LN)} - 1 \right]$$

equivale a la ganancia de carrera en sí.

El segundo término, o sea:  $\frac{PL (1/A_v + 1/A_T)}{2(10)^6}$

representa la pérdida de carrera debida al peso de la columna líquida.

La capacidad de la bomba se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V = C_e \cdot N \cdot K$$

en que:

V es el desplazamiento de la bomba en B/D

$C_e$  es la carrera efectiva, pulgs.

N es la velocidad en carreras por minuto

K es el factor de capacidad de la bomba

el Apéndice se incluye las Tablas No. 1 (Peso Fluido y Efecto de Estiramiento resultante en varillas y tubos), No. 2 (Varillas), y No. 3 (Factor de Desplazamiento de Bombas).

El uso de dicha información y la aplicación de las fórmulas necesarias a los 13 equipos de bombeo, materia del presente estudio (Cuadro No. 1), se sintetizan en el Cuadro No. 2.

Con el fin de ilustrar el proceso de cálculo hecho, seguidamente se mostrará el desarrollo de operaciones que corresponde al Pozo I en cuanto a la pérdida en longitud de carrera se refiere, pues se observará que la columna 6 del Cuadro No. 2 (término de la fórmula que involucra la ganancia en longitud de carrera) se ha obtenido por simple sustitución de valores.

En la columna 7 se consigna los valores para las constantes de peso de fluido anular (entre las sartas de varillas y la tubería en que están contenidas) que gravita sobre la bomba (Tabla No. 1). Así resulta que para el Pozo I, el peso de la columna anular de fluido (grav.espec.= 1) resulta ser  $P = CL$ , pero  $C = 0.610$  (Tabla No. 1) y  $L = 5081'$  luego:

$$P = \underline{0.610 \times 5081'}$$

En efecto, siendo la sarta de varillas de  $5/8''$  (62.4%) y  $3/4''$  (37.6), la bomba de  $1\frac{1}{2}''$  @ 5081' de profundidad, en tubos de 2", se tiene:

de "

$$\text{Area transversal de la bomba (cilindro)} = 1.767 \text{ pulg}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Area transversal de varillas} &= \frac{0.306}{1.461} \text{ pulg}^2. \\ &= 1.461 \text{ pulg}^2. \end{aligned}$$

Luego la constante de peso de fluido es:

$$1.461 \text{ pulg}^2. \times \frac{1 \text{ pie}^2.}{144 \text{ pulg}^2.} \times 62.4 \text{ lbs/pie}^3. \times 62.4\%$$

$$= \underline{0.395 \text{ lbs/pie}}$$

Sección de varillas de 3/4"

$$\text{Area transversal de la bomba (cilindro)} = 1.767 \text{ pulg}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Area transversal de varillas} &= \frac{0.442}{1.325} \text{ pulg}^2. \\ &= 1.325 \text{ pulg}^2. \end{aligned}$$

Luego la constante de peso de fluido es:

$$1.325 \text{ pulg}^2. \times \frac{1 \text{ pie}^2.}{144 \text{ pulg}^2.} \times 62.4 \text{ lbs/pie}^3. \times 37.6\%$$

$$= \underline{0.215 \text{ lbs/pie}}$$

Por lo tanto, quiere decir que el peso total de la columna anular viene a ser:

$$(0.215 + 0.395) \times 5081 = \underline{0.610 \times 5081}$$

En la columna ⑧ se eleva al cuadrado la longitud L de la sarta de varillas (entre mil para involucrar el divisor  $10^6$  de la fórmula y usar el valor ya tabulado  $1L/10^3$  de la columna ② en razón a que ese factor se repite en la fórmula: uno correspondiente al peso de fluido CL, y otro en la fórmula misma.



columna (9) solamente muestra el producto de (7) y (8) .

La columna (10) resulta de la Tabla No. 1 B en donde se lecrá que, para una bomba de  $1\frac{1}{2}$ " , corresponderá un Factor de Estiramiento de 2.890 para la sarta de varillas existente. Efectivamente, según se deduce, para un porcentaje de 62.4 y un área trasversal de 0.306 pulg<sup>2</sup>. (varillas de 5/8") se tendrá una relación  $F/A = 0.624/0.306 = 2.039$ . Lo propio se obtiene para las varillas de 3/4:  $F/A = 0.376/0.442 = 0.851$ . Por lo tanto  $\sum F/A = 2.039 + 0.851 = 2.890$ .

Para determinar los valores de  $\sum F/A$  de la columna (11) se hace uso de la Tabla No. 1 C cuando se trata de tubos sin anclaje, pero para el caso del Pozo I solamente el tramo de tubería de 2" que pende del obturador de empaque,  $5081 - 4887 = 194'$  (3.8% del total), está sujeto a estiramiento. Luego  $\sum F/A = \sum F \times 1/A = 0.038 \times 0.767 = 0.029$ .

Las columnas siguientes consignan valores ya sea conocidos o resultantes del desarrollo de la fórmula tanto para determinar la longitud neta de la bomba, como de la fórmula para determinar la capacidad de desplazamiento de la misma (Véase la Tabla No. 3 para encontrar los valores de K, factor de la bomba).

C U A D R O 1

DATOS DE PRODUCCION Y EQUIPO

Pozo	Producción			Equipo de Subsuelo			Equipo de Superficie				
	Pet., bpd	Ag., bpd	Horas/d	Tub. Prod.	Varillas	Bomb #	Prof.	Ancl. Tub.	Unid.	Carrera	Cars./M
A	50	0	24	2 1/2" -28.1 2" -71.9	" % 7/8-26.2 3/4-29.4 5/8-44.4	1 1/4" @ 5335'		160 D	51	10	
B	20	0	16	2 -100	3/4-31.6 5/8-68.4	1 1/16" @ 5532'		40 D	42	10	C-46
C	12	0	8	2 -100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 5046'	Obt. Emp. 5152' (*)	T 5	32	13	C-66
D	20	0	24	2 -100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 5008'		T 5	32	10	C-66
E	8	0	8	2 -100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 4981'		T 5	32	12	ZC208 408
F	20	0	24	2 -100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 4733'		T 5	32	9	C-46 1542'
G	80	0	24	2 -100	3/4-37.6 5/8-62.4	1 1/2" @ 4845'		TC333	54	11	C-96 809'
	210	0									7664'

(\*) 2.1 % de tubería entre obturador de empaque y bomba.

(Continuación - CUADRO 1 - DATOS DE PRODUCCION Y EQUIPO)

Pozo	P r o d u c c i ó n			Equipo de Subsuelo			Equipo de Superficie				
	Pet.,bpd	Ag.,bpd	Horas/d	Tub.Prod.	Varillas	Bomb.#	Prof.	Ancl.Tub.	Unid.	Carrera	Cars./M
H	40	0	24	" % 2-100	" % 3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 5229'			TC33	54	8
I	25	0	16	2-100	3/4-37.6 5/8-62.4	1 1/2" @ 5081'		Obt.EMP. @ 4887(*)	T1	54	10
J	40	0	24	2-100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 5752'			TC3	42	12
K	50	0	24	2-100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 4821'			TC33	42	11
L	40	5	24	2-100	3/4-31.6 5/8-68.4	1 1/16" 4549			T5	42	14
M	6	0	8	2-100	3/4-34.7 5/8-65.3	1 1/4" @ 5528			T5	32	10
	201	5									5226'
	411	5									12880'

(\*) 3.8 % de tubería entre obturador de empaque y bomba.

potencia de motores eléctricos

En la Tabla No. 4 aparecen tanto los cálculos de potencia como las mediciones de amperaje efectuados para 37 motores eléctricos trabajando en unidades de bombeo. El abaco que se adjunta a la Tabla No. 4 se preparó con esa información y relacionándose con la potencia nominal de los motores eléctricos graficada en el eje de ordenadas. Desde que el trabajo de los motores se controla tomando como base los amperajes nominales, se asumen como reales para los fines prácticos, de tal manera que, haciéndose uso del abaco, cada potencia real (ordenadas) del Cuadro No. 3 se determina en base a la respectiva potencia calculada (abscisas) con un factor de seguridad de 15%. En efecto, si en la fórmula de potencia trifásica reemplazamos valores (considerando Factor de Potencia: 0.8, 440 voltios) para los diferentes amperajes nominales se apreciará una diferencia de aproximadamente 15% en promedio con la potencia resultante del cálculo.

$$HP = 1.73 \times 440 \times 0.8 \times A / 746$$

<u>Amp.</u> Nom.	HP Nom.	HP Calc.	Dif.	<u>%HP</u> Calc.
4.5	3	3.7	0.7	19
7.5	5	6.2	1.2	19
11.0	7.5	9.0	1.5	17
14.0	10	11.4	1.4	12
19.0	15	15.5	0.5	<u>3.2</u> 70.2/5=14.4%

La determinación de la potencia real se considera de primordial importancia en el caso del cálculo de equipo eléctrico para pozos, pues la existencia de parafina, emulsión, arena o lodo en el petróleo hará que los motores se sobrecarguen cuando ellos no son seleccionados con un adecuado margen de seguridad. En el abaco se podrá apreciar 3 líneas rectas convergentes en el origen de coordenadas siendo bisectriz la de elementos, y que ha sido usada para los cálculos mostrados en el Cuadro No. 3. Dicha línea define las condiciones promedias de los pozos (37) considerados para la elaboración del abaco, de tal modo que la línea superior corresponde a pozos relativamente parafinosos (en los cuales la parafina se deposita a 25 o más pies al mes), y la línea inferior a pozos limpios (menos de 25 pies de parafina al mes).

El margen de seguridad que presenta la potencia real en el abaco puede apreciarse analíticamente determinando la ecuación de la línea recta que pasa por el origen de coordenadas (en este caso, de la bisectriz):  $HP_n = HP_c \times 14/9.5 = 1.474 HP_c$  (con 40% de ef. vol. y 15% prom. como factor de seguridad) =  $1.734 HP_c$  (con 40% de ef. vol.) =  $1.3 HP_c$  (con 30% de ef. vol.). Se notará que la potencia requerida es aprox. 50% superior a la calculada.





INACION DEL CONSUMO DE GAS COMBUSTIBLE Y FUERZA  
ELECTROMOTRIZ

En el Capítulo VI se adjunta un gráfico que relaciona el porcentaje de carga en el motor y el consumo de gas combustible (Manual Zaba).

En el Cuadro No. 4 se indica las potencias promedias de los diferentes tipos de motores a gas como también el % de carga actual (en base a la potencia real) y los consumos de gas obtenidos del abaco. En ese cuadro también se muestra las longitudes de las tuberías portadoras del gas combustible a los pozos (véase también la fig. 1).

En el Cuadro No. 3 se muestra al medio los cálculos para determinar el consumo de energía eléctrica en HP-hr. El lado derecho muestra el equipo eléctrico requerido, presentándose entre paréntesis el equipo que se tiene disponible: 9990 pies de un total requerido de 17320 pies de línea (sin incluir 5% por catenarias) y 13 motores-arrancadores (3 de 5 HP, 4 de 7.5 HP, 4 de 10 HP y 2 de 15 HP).

Al haberse expresado en el Capítulo II - Abstracto la disponibilidad de energía eléctrica, se ha deseado dar a entender, como resulta natural, la existencia de generadores y transformadores para entregar toda la fuerza necesaria.



En la Fig. 2 se indica el trazo de las líneas eléctricas y la longitud adicional que se requiera por catenarias de las líneas y desniveles que se ha estimado en un 5% del total requerido (o sea más o menos 900 pies) y se tiene disponible.

Otras consideraciones como calibre de las líneas, terminales, capacitores, instalación de postes, tensión de líneas, aisladores, etc., requieren de diseño especial por parte de especialistas en la materia.

En el Cuadro No. 7 se muestra estadísticamente la pérdida de producción acusada en 13 meses consecutivos así como los promedios respectivos tanto para motores a gas como para eléctricos.

## ECONOMICO

Para permitir un análisis más rápido y ordenado en lo que al aspecto económico se refiere, se plantea el balance correspondiente en 2 partes (Cuadros Nos. 5 y 6): una para los 7 pozos de la Zona Norte y otra para los 6 de la Zona Sur. Además se incluye el Cuadro No. 7 con la información estadística de las pérdidas de producción por desperfectos del equipo y el equivalente de las mismas.

También interesa exponer que el balance elaborado (Cuadros Nos. 5 y 6) ha sido tabulado de modo que permita apreciar la comparación de costos entre motores a gas y motores eléctricos, indicándose las diferencias en las 2 columnas de la derecha. Podrá observarse que la comparación ha sido establecida en dos conceptos:

- 1) Inversión y Recuperación Iniciales, y
- 2) Costos Anuales.

En el Cuadro No. 7 también se puede ver la diferencia en las pérdidas de producción entre los dos tipos de motores.

## Y RECUPERACION INICIALES

Se ha hecho indicación del valor de cada motor a gas como si fuera nuevo, pues se trata que en la actualidad se necesita ese tipo de motor y no se tiene disponible, lo que supondría comprar motores nuevos.

Del valor de la tubería se ha deducido los gastos de labor necesarios para su recuperación. Encontrándose la tubería en servicio y habiéndose constatado su buen estado de conservación se ha valorizado como de segunda mano.

En lo que respecta al equipo eléctrico disponible se ha indicado entre paréntesis el importe correspondiente con el propósito único de ilustrar lo que sería necesario invertir si no se tuviera ese equipo disponible. Se podrá observar que aun en el caso de comprar todo el equipo eléctrico se tendría una diferencia a favor.

En apariencia, sería recomendable ejecutar este proyecto en forma inicial en la Zona Sur por el mayor monto de la recuperación y menores costos anuales, pero en realidad la necesidad de motores de poco caballaje hace recomendable comenzar por la Zona Norte.

### COSTOS ANUALES

Conociéndose los gastos generales que demanda el mantenimiento de los 2 tipos de motores, solamente es posible determinar costos promedios con excepción de los inherentes a gas y fuerza eléctrica consumidos como también a los de depreciación. Con respecto al valor de depreciación se ha considerado 10 años para los motores Fairbanks Morse, Lufkin y Cooper Bessemer, 20 para los Continental y 30 para los eléctricos.

Se estima conveniente aclarar que tratándose de valores promedios en su mayoría, resulta aconsejable analizar el proyecto más en base a las cifras totales que en particular a las parciales de los pozos, pues se encuentran algunas diferencias negativas que parecen señalar como injustificable la electrificación de los pozos respectivos.

Como una referencia de interés para la determinación del costo de operación, se ha considerado que el operador dedica 6 minutos diarios en un motor a gas y  $\frac{1}{2}$  minuto diario en uno eléctrico.

Todos los costos han sido hechos sobre una base de 360 días al año.

C U A D R O 7

ESTADISTICA DE PRODUCCION PERDIDA POR DESPERFECTOS DEL EQUIPO

Mes No.	Motores a gas (46)		Motores eléc- tricos (4)	
	Hrs.	Bbls.	Hrs.	Bbls.
1	354	369	746	450
2	545	661	203	170
3	342	663	88	175
4	416	490	48	20
5	328	450	-	-
6	218	270	15	20
7	227	155	144	120
8	346	559	95	105
9	268	254	36	50
10	375	285	27	45
11	178	255	-	-
12	210	110	24	50
13	132	200	66	60
Prom. 1 año	3939	4721	1492	1265
Id. por motor	3636	4356	1380	1164
Id. por 13 motores	79	95	22	18
Pérd. por 13 mots. \$ /año	1027	1235	286	234
		617		117

#### IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

la.- Instalar equipo eléctrico y recuperar el existente a gas en los 13 pozos del Sector San Martín que en la actualidad producen a bomba, en forma progresiva y comenzando por la Zona Norte.

2a.- Con una inversión total de \$ 12325 se puede conseguir la electrificación de los 13 pozos y, como consecuencia, la recuperación de equipos a gas por un valor de \$ 31790, derivándose en los siguientes beneficios:

- a) Recuperación de motores a gas (\$ 28000) cuya demanda es creciente en otros sectores de producción y tuberías de gas (\$ 3790) como resultado inmediato de la inversión total.
- b) Menores costos anuales (\$ 11230 - \$ 7885 = \$ 3345)
- c) Menor pérdida de producción anual ocasionada por desperfectos mecánicos (\$ 617 - 117 = \$ 500).
- d) Mayores facilidades y condiciones más seguras de operación.

## V D I S C U S I O N

La Fig. 1 muestra el Sector San Martín con la ubicación de los 13 pozos productores, materia del presente estudio, y el correspondiente sistema de tuberías de gas combustible, agrupados en las Zonas Norte (7 pozos) y Sur (6 pozos). En la Fig. 2 se ilustra el sistema de líneas eléctricas que se propone instalar con el propósito de recuperar motores y tuberías de gas, como también de reducir costos y pérdidas de producción. Cabe hacer mención nuevamente al hecho que, en la actualidad resulta ya necesario comprar motores para otros sectores productivos, cuando ello puede en realidad evitarse efectuando trabajos de electrificación económicamente justificables, como es el caso que se plantea en este proyecto.

Teniéndose en cuenta que tanto motores, controles de arranque y 58% de líneas eléctricas (más 5% por catenarias) como también los  $\pm$  100 HP de fuerza electromotriz necesarios se encuentran disponibles, resulta que la ejecución de los trabajos de electrificación en el Sector San Martín son perfectamente viables, al punto que dichos trabajos pueden llevarse a cabo paulatinamente, esto es, pozo por pozo a medida que se necesiten los motores a gas para otros sectores de producción. Como quiera que los actuales requerimientos son más por motores pequeños que por grandes resul-

verdadero interés iniciar la ejecución de este proyecto en la Zona Norte (7 motores con 85 HP en total o + 12 HP por motor en promedio), en vez de hacerlo en la Zona Sur (6 motores con 92 HP en total o ± 15 por motor en promedio). La ventaja de comenzar por la Zona Norte también radica en el orden de los trabajos de modo que se principiarían por el Pozo A para recuperar el motor C-96 y luego continuar con el B para recuperar el C-46. Después se seguiría con el C y así sucesivamente. Nótese que perteneciendo A y B a otro sistema de líneas eléctricas también podría comenzarse por C, siendo aconsejable lo primero.

En la Zona Sur solamente los Pozos H e I serían de interés por tener motores pequeños, no así los demás. Se observará que para recuperar los 2 motores F. Morse de los Pozos L y M previamente se necesitaría electrificar J por lo menos.

Es en todo caso recomendable que si el proyecto se aprueba en general, se dé consideración preferencial, entre otros, a los pozos H e I para los delineamientos finales del plan de ejecución de trabajos.

No obstante que los montos de recuperación inicial y de reducción de gastos anuales son menores en la Zona Norte (11465 y 1920 dólares) que en la Zona Sur (19465 y 3345 dólares) se trata que de otra manera no se estaría satisfaciendo la urgente necesidad de recuperar motores pequeños a



mayor número se tienen en la Zona Norte.

Según se desprende del estudio económico (Cuadros Nos. 5 y 6) una inversión de \$ 12325, por tendido de líneas eléctricas, se necesitaría para conseguir la recuperación de 13 motores a gas, 12880' de tubería de 1  $\frac{1}{4}$ "  $\phi$  y 3100' de 3"  $\phi$  por valor de \$ 31790. Se podrá apreciar que de este total \$ 28000 corresponden al importe de los motores. Además resulta concluyente el hecho que no solamente el retorno de la inversión sería inmediata sino que se obtendría la diferencia a favor  $31790 - 12325 = \$ 19465$ . Más aún, los gastos en que anualmente se incurre por mantenimiento, fluido motoriz, operación y depreciación quedarían en general substantialmente reducidos de 11230 a 7885, obteniéndose así una ganancia permanente de \$ 3345 al año.

Con respecto a los costos anuales es notorio el monto de los diferentes ítems de modo que comparativamente, se ve cómo el mantenimiento de los motores a gas supera en valor al de los eléctricos en  $(600 + 50) - 24 = 650 - 24 = \$ 626$  por cada uno. La frecuencia de desperfectos, cambio de piezas, lubricación e inspecciones hacen que el servicio de los motores a gas sea más costoso que el de los eléctricos cuya periodicidad de reparaciones e inspecciones es prácticamente despreciable, incluyendo las líneas.

Lo inverso sucede con los gastos de gas combustible y energía eléctrica. Mientras que lo primero es un pro

los mismos pozos, con o sin tratamiento antes de usarse, el fluido eléctrico supone la necesidad de plantas de fuerza. Conforme se ha expuesto en otras partes de este estudio, la energía necesaria ( $\pm 100$  HP) se encuentra disponible en el sentido que hay generadores para proporcionar ese caballaje, pero ello no quiere decir que esos generadores no requieran de todos los gastos necesarios para el suministro adecuado de la energía necesaria, por cuya razón se ha incluido el monto correspondiente, siendo así que el uso de fuerza eléctrica supone un recargo de  $7176 - 180 = \$ 6996$ , en total para los 13 motores, con respecto al uso de gas combustible.

En la parte operativa también se puede apreciar cómo un motor a gas al requerir una mayor atención (6 minutos diarios c/u), demanda un gasto superior a los eléctricos ( $\frac{1}{2}$  minuto diario c/u) en  $50-4 = \$ 46$ . Ello se debe a que el operador necesita controlar los sistemas de lubricación y refrigeración aparte de las demoras que supone el arranque cuando se presentan eventuales desperfectos en el sistema de encendido, etc. Muy ocasionalmente un motor eléctrico dará dificultades por desperfectos en el control de arranque o en las líneas.

En cuanto a la depreciación se refiere ya en el estudio económico de este proyecto se hizo mención a este aspecto. Indudablemente que un motor eléctrico tiene una gran

que se explica por el reducido número de partes móviles que tiene.

Se ha incluido gastos de depreciación de motores eléctricos, pues no obstante estar disponibles, es equipo en que se ha hecho una inversión previa para su adquisición, y por tanto, se encuentra sujeta a cargos por depreciación. En este caso los 13 motores alcanzan la suma de \$ 285 contra \$ 1950 de los motores a gas, es decir, una diferencia a favor de los primeros de  $1950 - 285 = \$ 1665$ .

Haciendo pues el balance general comparado de los costos anuales resulta beneficiosa la conversión del sistema de gas a eléctrico pues en resumen, como ya se dijo antes, se tendría una reducción de 11230 a 7885 dólares o sea \$ 3345 al año.

Al explicar los gastos por operación de motores se ha dado ya la idea de lo ventajoso que resulta el trabajo de un motor eléctrico que no requiere sino una pequeña atención por parte del operador. Como es sabido muchos motores trabajan sujetos a un determinado horario, como sería el caso de los pozos B, C, E, I y M, lo que se consigue automáticamente en los eléctricos mediante dispositivos de relojería. Los desperfectos mecánicos de los motores a gas hacen indudablemente que la labor operativa sea más difícil, tosca, morosa y, por lo tanto, más cara. Se deduce que si el motor eléctrico tiene menos partes móviles y demanda menos

labor, las condiciones de operación tienen que ser más seguras.

Según se acaba de exponer se trata que los motores a gas dan lugar a paralización del proceso productivo del pozo con más frecuencia que los eléctricos. Ello se muestra estadísticamente en el Cuadro No. 7 para 46 motores a gas y 64 eléctricos, durante 13 meses consecutivos, así como también el efecto resultante: La pérdida de producción.

Obteniéndose promedios resulta que los 13 pozos anualmente ocasionan una pérdida de producción equivalente a \$ 617 lo que se reduciría en  $617 - 117 = \$ 500$  al instalarse equipos eléctricos.